

PEMBUATAN DAN PENGUJIAN SIFAT MEKANIK KOMPOSIT BAHAN SERAT FIBERGLASS DAN SERAT DAUN NANAS DENGAN Matrik RESIN POLYESTER PADA PANEL PANJAT DINDING

Moch. Yunus^{1)*}, Dwi Arnoldi¹⁾, M. Cakra Puitra Prakarsa²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya

²⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jln.Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139 Telp:0711-353414 Fax:0711-453211

*Email: myunuspolsri@gmail.com

Abstrak

Serat daun nanas merupakan salah satu komponen yang sering dibuang pada tanaman nanas. Tanaman nanas yang berbahasa latin ananas comosus pada umumnya termasuk jenis tanaman semusim dan memiliki daun yang panjang dan mirip dengan tanaman lidah buaya. Daun nanas ini memiliki banyak manfaat, salah satunya serat pada daun nanas yang dapat digunakan sebagai bahan penguat pada pembuatan material komposit. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis pengaruh dari variasi berat serat daun nanas dengan serat *fiber* yang di aplikasikan ke panel panjat dinding. Metode yang digunakan adalah metode uji tarik dan uji *bending* dengan variasi serat daun nanas (100 gram, 5 gram, 3 gram) dan variasi serat *fiber* (5 gram, 7 gram). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa spesimen 3 gram serat daun nanas + 7 gram serat *fiber* memiliki nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 10,601 N/mm² dan tegangan *bending* sebesar 13,534 N/mm². Penelitian ini tidak dapat dijadikan referensi untuk pembuatan panel panjat dinding, tapi dapat dilihat nilai kekuatan perpaduan antara serat *fiber* dan serat daun nanas. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa hasil pada komposit tidak dapat dijadikan untuk pembuatan panel panjat dinding, karena nilai kekuatan perpaduan antara serat *fiber* dan serat daun nanas terlalu rendah dari standar BSAPI yaitu $\sigma_t \text{ uji} = 10,601 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_t \text{ standar} = 22,555 \text{ N/mm}^2$, dan $\sigma_b \text{ uji} = 40,601 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_b \text{ standar} = 112,776 \text{ N/mm}^2$.

Kata kunci: Komposit serat daun nanas, uji tarik, uji *bending*, panel panjat tebing

Abstract

Pineapple leaf fibers is one component that is often dumped on a pineapple plant. The pineapple plant ananas comosus latin-speaking in General, including types of annuals and have leaves that are long and similar to that of the Aloe Vera plant. The leaves of the pineapple has many benefits, one of which of fiber on the leaves of pineapple can be used as ingredients in the manufacture of composite material reinforcement. The purpose of this research was to analyze the influence of the fiber weight of the best-performing variations for the pineapple leaf fiber fiber in aplikasikanke climbing wall panels. The method used is the test method tensile and bending test with pineapple leaf fiber variation (100 g, 5 g, 3 g) and fiber (5 g, 7 g). The results of this study indicate that specimens of pineapple leaf fiber 3 g + 7 g fiber have value average voltage drop of 10.601 N/mm² bending and voltage of 13.534 N/mm². Key words: Composite fiber pineapple, leaf pull-test, test the bending of rock climbing, the panel. The results of this study stated that the results of the composite could not be used for the manufacture of wall climbing panels, because the strength value of the combination of fiber and pineapple leaf fibers was too low from the BSAPI standard namely $\sigma_t \text{ test} = 10.601 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_t \text{ standar} = 22,555 \text{ N/mm}^2$, and $\sigma_b \text{ test} = 40,601 \text{ N/mm}^2$ standar standard $\sigma_b = 112,776 \text{ N/mm}^2$

Keywords: banana tree fiber Composite, test impact, bending test, a panel of rock climbing

1. PENDAHULUAN

Majunya perkembangan teknologi industri menyebabkan kebutuhan material komposit semakin meningkat. Material komposit dipilih pada bidang tersebut karena memiliki sifat ketahanan korosi yang lebih baik, karakteristik yang dapat dikontrol serta berat yang lebih ringan dan biaya produksi yang murah.

Komposit adalah suatu bahan hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya, baik sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat jenisnya rendah kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi dan memiliki biaya perakitan yang lebih murah.

Perkembangan ini ditopang pula oleh kondisi alam Indonesia yang kaya akan bahan-bahanserat alam, seperti kapas (*cotton*), kapuk, goni (*jute*), sisal, kenaf, pisang, kelapa, sawit, rami kasar (*flax*), rami halus (*hemp*). Material komposit dengan penguatan serat alam (*natural fibre*) seperti bambu, sisal, hemp, dan pisang telah diaplikasikan pada dunia *automotive* sebagai bahan penguatpanel pintu, tempat duduk belakang, *dashboard*, dan perangkat interior lainnya (Anggara, R. 2018)

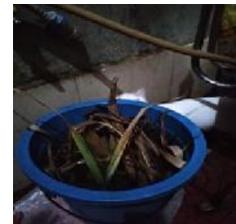
Bahkan pusat riset Daimler-Chrysler di Eropa mengungkapkan bahwa serat alam seperti *flax* dan *hemp* mempunyai potensi yang kuat dalam industri *automotive* jika dibanding dengan serat *glass*, karena harganya yang murah dan ringan (Badan Standarisasi dan Akreditasi Pemanjatan Indonesia, 2019). Hal tersebut juga diperkuat oleh (Hadi, T. S, 2016) yang menyatakan bahwa tekstil dapat digunakan secara luas pada *automotive* dan memiliki potensi yang luar biasa. Nanas atau bahasa ilmiahnya *Ananas comosus*. Salah satu karakteristik tumbuhan ini memiliki daun yang panjang, hal ini merupakan salah satu faktor penunjang yang bagus untuk dikembangkan menjadi komposit serat alam. Daun nanas juga memiliki kekuatan tarik yang cukup baik dan daging daun yang tidak begitu banyak sehingga cukup mudah memisahkan serat dan daging daunnya. Pada penelitian ini, serat daun nanas akan digunakan sebagai penguat material komposit dengan komposisi serat yang akan di aplikasikan pada panel panjat tebing.

Penggunaan serat alam pada paduan komposit bertujuan untuk mempermudah penguraian oleh alam, Serta upaya untuk memanfaatkan daun nanas yang sering terbuang saja dan tidak dimanfaatkan. Berdasarkan latar belakang diatas, penulis melakukan penelitian terhadap material komposit, tentang pemanfaatan Serat daun nanas.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Pengambilan serat daun nanas

1. Daun nanas yang biasanya diambil sekitar 4-6 lembar dari satu rumpun/pohon nanas dengan ukuran panjang daun sekitar 0,5 – 0,7 m. selain itu syarat lainya daun nanas harus baik (tidak cacat) dan tidak kering. Sebelum pengambilan serat daun nanas direndam dalam air biasa sampai daun berwarna kecoklatan.
2. Pengambilan serat daun nanas menggunakan metode manual yaitu dengan cara disikat menggunakan sikat baja, *scrub* atau bamboo untuk memisahkan antara serat dengan daging dari daun nanas tersebut.



Gambar 1. Proses Perendaman Daun Nanas



Gambar 2. Proses Pengambilan Serat Daun Nanas Menggunakan Scrub



Gambar 3. Serat Daun Nanas

2.2 Pembuatan cetakan spesimen komposit

Cetakan yang digunakan dalam pembuatan spesimen uji adalah cetakan kaca yang di buat di sesuaikan dengan dimensi standar pengujian yang akan di lakukan. Cetakan yang di gunakan berukuran, P= 210 mm, L= 50 mm, T= 50 mm untuk

cetakan spesimen pengujian tarik, P= 260 mm, L= 50 mm, T= 50 mm untuk cetakan spesimen pengujian bending. Serta penaburan talek yang berfungsi sebagai pelapis cetakan specimen agar komposit tidak lengket pada alat pencetak.



Gambar 4. Cetakan Spesimen

2.3 Pembuatan Komposit

1. Menyiapkan serat nanas dan serat fiberglass dengan perbandingan berat massa 10gr serat nanas tanpa campuran serat fiberglass, 7gr serat nanas dengan campuran 3gr serat fiber, dan 4gr serat nanas dengan campuran 6gr serat fiberglass.
2. Mencampurkan resin dengan katalis sesuai dengan takaran katalis 1 persen dan aduk sampai rata.



Gambar 5. Penakar Katalis



Gambar 6. Wadah Untuk Resin Yang Telah Diukur

3. Masukkan campuran resin dan katalis kedalam cetakan secukupnya, kemudian ratakan sampai keseluruhan cetakan.

4. Masukkan sebagian serat ke dalam cetakan memanjang dan siram lagi dengan resin lalu tekan dan ratakan agar distribusinya merata.
 - i. Memasukkan serat yang tersisa mengikuti serat awal, lalu siram lagi dengan resin yang tersisa kemudian tekan dan ratakan.
 - ii. Menunggu selama \pm 8-12 jam sampai cetakan mengering dan keras.

2.4 Pembuatan bentuk spesimen

1. Potong spesimen menjadi beberapa bagian dengan ukuran standar spesimen ASTM D 790-02 dan untuk pembuatan spesimen D 638-90 menggunakan mesin gerida tangan menggunakan mal yang dibuat menggunakan akrilik.



Gambar 7. Mal Yang Terbuat Dari Akrilik

2. Melakukan pengamplasan manual beralaskan kaca agar saat pengamplasan permukaan spesimen rata dan halus.
3. Setelah proses pengamplasan selesai, didapatkan bentuk spesimen sesuai standar ASTM D 790-02 dan standar ASTM D 638-90.
4. Tahap finising selesai maka spesimen diberikan label untuk pembeda:



Gambar 8. Spesimen Sebelum Dibentuk



Gambar 9. Spesimen Setelah Dibentuk



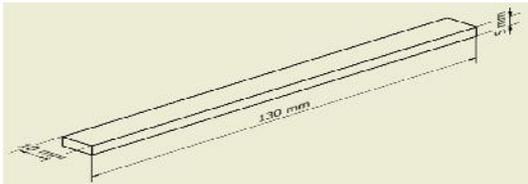
Gambar 10. Mesin Hung TA Tipe HT 9502

a. Pengujian Bending Komposit

Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui kelenturan dari bahan komposit. Spesimen dibentuk menurut standar ASTM D 790-02, Diuji menggunakan mesin Hung TA tipe HT 9502.



Gambar 11. Proses Pengujian Bending



Gambar 12. ASTM D 790-02

b. Alat dan Bahan

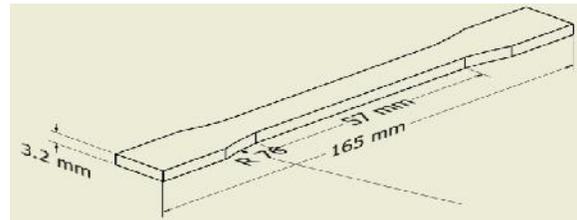
- Mesin uji Torse
- Timbangan Digital
- Jangka Sorong
- Mistar
- Kikir
- Amplas
- Gunting
- Sikat Kawat
- Cetakan Spesimen
- Sarung Tangan
- Masker
- Serat Daun Nanas
- Resin Polyester
- Katalis
- Serat Fiber
- Talk

2.5 Pengujian Tarik Komposit

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui besarnya kekuatan tarik dari bahan komposit. Pengujian tarik dibentuk menurut standar ASTM D 638-90, Diuji menggunakan mesin Hung TA tipe HT 9502.



Gambar 13. Proses Pengujian tarik



Gambar 14. ASTM D 638-90

2.5.1 Alat dan Bahan

- Mesin uji tarik
- Timbangan Digital
- Jangka Sorong
- Mistar
- Kikir
- Amplas
- Gunting
- Sikat Kawat
- Cetakan Spesimen
- Sarung Tangan
- Masker
- Serat Daun Nanas
- Resin Polyester
- Katalis
- Serat Fiber
- Talek

2.6 Standard Operation Procedure (SOP) Uji Tarik

1. Ukurlah dimensi (diameter rata-rata) dari benda uji dengan menggunakan caliper atau mikrometer. Buatlah sketsa dari benda uji dan masukkan hasil pengukuran dimensi tersebut pada lembar data Anda.
2. Tandailah panjang ukur (*gauge length*) berupa jarak antara dua titik pada benda uji dengan menggunakan penggores (*cutter*)

atau spidol permanen. Buatlah panjang ukur yang simetris dengan panjang benda uji keseluruhan dan mengacu kepada standar (ASTM atau JIS).

3. Pasanglah benda uji dengan hati-hati pada grip mesin uji. Pada tahap ini anda akan didampingi oleh teknisi lab. Catatlah setiap langkah operasional setting pengujian dengan seksama.
4. Mulailah penarikan dan perhatikan dengan baik mekanisme deformasi yang terjadi pada benda uji serta tampilan grafik beban-perpanjangan yang terlihat pada *recorder* Teruskan pengamatan hingga terjadinya beban maksimum dan dilanjutkan dengan necking lalu perpatahan.
5. Tandailah pada grafik beban-perpanjangan titik-titik terjadinya beban maksimum dan perpatahan.
6. Lepaskan benda uji dari grip mesin uji, satukan kembali patahan benda uji dan ukurlah antara dua titik (*gauge marks*). Ukurlah pula diameter akhir dari bagian benda uji yang mengalami *necking*. Catatlah hasil-hasil pengukuran ini di dalam lembar data.

2.7 Proses Pengujian Tarik

Pengujian tarik yaitu pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran tentang sifat-sifat dan keadaan dari suatu material. Pada penelitian kali ini penulis melakukan pengujian tarik sebagai metode pengujian agar mendapatkan hasil kekuatan tarik dari *point* panjat tebing.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian dilakukan di Laboratorium mekanik jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya, Maka hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Data hasil pengujian Tarik

| No | Spesi men | Luas (mm ²) | F Max (N) | YS (N/mm ²) | TS (N/mm ²) | — (%) |
|----|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------|
| 1. | Tarik 1 | 130 | 568,806 | 3,609 | 4,354 | 1 |
| 2. | | 130 | 2128,119 | 7,473 | 16,338 | 4 |
| 3. | | 130 | 961,086 | 7,394 | 7,394 | 3 |
| 4. | Tarik 2 | 130 | 1676,997 | 4,904 | 12,867 | 3 |
| 5. | | 130 | 951,279 | 4,276 | 7,356 | 2 |
| 6. | | 130 | 1480,857 | 9,251 | 11,415 | 2 |
| 7. | Tarik3 | 130 | 1706,418 | 4,001 | 13,102 | 2 |
| 8. | | 130 | 872,823 | 4,148 | 6,737 | 2 |
| 9. | | 130 | 2334,066 | 4,531 | 11,964 | 5 |

Tabel 2. Hasil Pengukuran Tegangan Rata-rata Tarik Komposit Serat Daun Nanas Dan *Fiberglass*

| Keterangan | Serat Nanas 10 gr | Serat Daun Nanas 5 gr + Serat <i>Fiberglass</i> 5 gr | Serat Daun Nanas 3 gr + Serat <i>Fiberglass</i> 7 gr |
|--------------------------------|-------------------|--|--|
| Nilai | 4,354 | 12,867 | 13,102 |
| Tegangan Uji Tarik | 16,338 | 7,356 | 6,737 |
| Komposit (N/mm ²) | 7,394 | 11,415 | 11,964 |
| Jumlah | 28,086 | 31,638 | 31,803 |
| Rata-rata (N/mm ²) | 9,362 | 10,546 | 10,601 |

3.1 Pengujian Bending

Berdasarkan pengujian dilakukan di Laboratorium mekanik jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya, Maka hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel 3 dan 4.

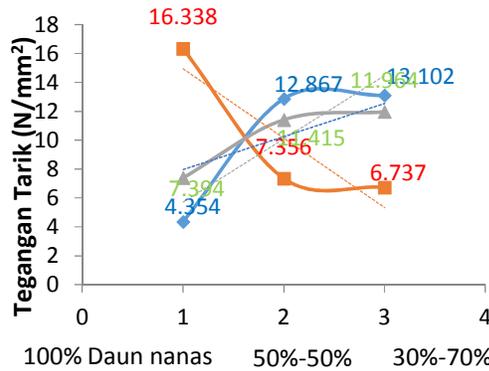
Tabel 3. Data hasil pengujian Bending

| No | Spesi men | Luas (mm ²) | Beban Max (N) | Tegangan Bending, †b (N/mm ²) |
|----|-----------|-------------------------|---------------|---|
| 1 | 1.1 | 100 | 1553,115 | 18,633 |
| 2 | 1.2 | 100 | 745,106 | 10,591 |
| 3 | 1.3 | 100 | 334,164 | 4,707 |
| 4 | 2.1 | 100 | 186,51 | 2,648 |
| 5 | 2.2 | 100 | 915,483 | 15,593 |
| 6 | 2.3 | 100 | 298,388 | 4,904 |
| 7 | 3.1 | 100 | 604,229 | 10,297 |
| 8 | 3.2 | 100 | 946,474 | 16,182 |
| 9. | 3.3 | 100 | 829,505 | 14,122 |

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kekuatan Rata-rata Bending Komposit Serat Daun Nanas dan Serat *Fiberglass*

| Keterangan | Serat Nanas 10 gr | Serat Daun Nanas 5 gr + Serat <i>Fiberglass</i> 5 gr | Serat Daun Nanas 3 gr + Serat <i>Fiberglass</i> 7 gr |
|--------------------------------|-------------------|--|--|
| Nilai | 18,633 | 2,648 | 10,297 |
| Kekuatan Bending | 10,591 | 15,593 | 16,182 |
| Komposit (N/mm ²) | 4,707 | 4,904 | 14,122 |
| Jumlah | 33,931 | 23,145 | 40,601 |
| Rata-rata (N/mm ²) | 11,310 | 7,715 | 13,534 |

3.2 Uji Tarik



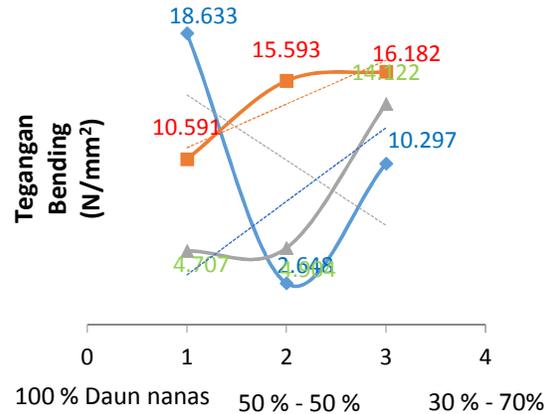
Gambar 15. Grafik Perbandingan Setiap Komposisi Spesimen dari Uji Tarik

Berdasarkan hasil pengujian yang di lakukan sebelumnya maka didapatkan hasil pengujian yang menunjukkan bahwa spesimen uji dengan komposisi 10 gr serat nanas menunjukkan hasil tegangan tarik di angka 16,338 N.mm², spesimen dengan komposisi 5 gram serat daun nanas + 5 gram serat *fiber* menunjukkan hasil tegangan tarik di angka 12,867 N.mm², spesimen dengan komposisi 3 gram serat daun nanas + 7 gram serat *fiber* menunjukkan hasil tegangan tarik di angka 13,102 N.mm².

Maka dari itu dapat dianalisa bahwa specimen dengan serat komposisi 3 gram serat daun nanas + 7 gram serat *fiber* memiliki nilai rata-rata tegangan tarik sebesar 10,60 newton/mm². Maka dari pada itu dapat disimpulkan bahwa serat yang memiliki susunan komposisi 3 gram serat daun nanas + 7 gram serat *fiber* memiliki nilai tegangan tarik yang lebih besar dari pada spesimen serat yang lainnya. Hal ini dikarenakan pada susunan komposisi 3 gram serat daun nanas + 7 gram serat *fiber* memiliki kuantitas yang tidak terlalu berbeda dalam ukuran jumlah, oleh karena itu diantara kedua serat tersebut memiliki keterikatan satu sama lain sehingga sama-sama menjadi spesimen yang bisa diaplikasikan pada benda *panel* panjat dinding.

3.3 Uji Bending

Berdasarkan hasil pengujian *bending* yang telah dilakukan sebelumnya didapatkan nilai yang menunjukkan bahwa spesimen dengan perpaduan 10 gram serat daun nanas memiliki nilai tegangan *bending* di angka 18,633 N/mm², spesimen dengan perpaduan 5 gram serat daun nanas + 5 gram serat *fiber* memiliki nilai tegangan *bending* di angka 15,593 N/mm², spesimen dengan perpaduan 3 gram serat daun nanas + 7 gram serat *fiber* memiliki nilai tegangan *bending* di angka 16,182 N/mm².



Gambar 16. Grafik Perbandingan pada Setiap Komposisi Spesimen dari Uji *Bending*

Dari Gambar 16 dapat dianalisa bahwa spesimen serat dengan komposisi serat 3 gram serat daun nanas + 7 gram serat *fiber* memiliki nilai rata-rata tegangan *bending* sebesar 13,53 N/mm², Hal ini di karenakan kuantitas serat daun nanas serat *fiber* tidak terlalu berbeda sehingga membuat spesimen uji lebih solid dalam menahan uji *bending* dibandingkan spesimen uji yang lainnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah di lakukan maka dapat disimpulkan. Kombinasi serat daun nanas dan serat *fiber* tidak dapat meningkatkan kekutan mekanik Panel panjat dinding dan memerlukan penelitian lanjutan untuk mendapatkan kekuatan tarik dan *bending* yang mendekati nilai kekuatan panel panjat dinding.

Kuantitas campuran serat dalam spesimen uji dapat mempengaruhi kekuatan serta ketahanan pada panel panjat dinding. Seperti spesimen uji tarik dimana spesimen dengan perbandingan serat daun nanas 3gr + serat *fiber* 7gr memiliki hasil tarik paling maksimum sebesar 10,601 Nmm², dan pengujian *bending* dengan hasil tegangan *bending* maksimum pada spesimen dengan kandungan 3gr serat daun nanas + 7 gr serat *fiber* 40,601 Nm/mm².

Hasil penelitian ini menyatakan bahwa hasil pada komposit tidak dapat dijadikan untuk pembuatan panel panjat dinding, karena nilai kekuatan perpaduan antara serat *fiber* dan serat daun nanas terlalu rendah dari standar BSAPI yaitu $\sigma_t \text{ uji} = 10,601 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_t \text{ standar} = 22,555 \text{ N/mm}^2$, dan $\sigma_b \text{ uji} = 40,601 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_b \text{ standar} = 112,776 \text{ N/mm}^2$

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, R. 2018. Pengaruh Perbandingan Berat Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Diperkuat Serat Daun Pisang Dan Fiber Dengan Resin Polyester Pada Panel Panjat Dinding.
- Badan Standarisasi dan Akreditasi Pemanjatan Indonesia <http://bsapi.panjat.tebing.org/news.html>. Diakses senin, 18 febuari 2019
- Hadi, T. S. 2016. Analisa Teknis Penggunaan Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Ditinjau Dari Kekuatan Tarik, Bending Dan Impact <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view-/13802/0>.
- Hendriwan, F, Hermansyah, H. 2011. PENGARUH ORIENTASI SERAT PADA KOMPOSIT RESIN POLYESTER/ SERAT DAUN NENAS TERHADAP KEKUATAN TARIK. <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/tmesin/article/view/62>.
- Hendriwan, F, Arifin, N. 2014. PENGARUH VARIASI KOMPOSISI KOMPOSIT RESIN EPOXY/SERAT GLASS DAN SERAT DAUN NANAS TERHADAP KETANGGUHAN. <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/tmesin/article/view/268/262>.
- Hestiawan, H, Jamasri, Kusmono. 2017. PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS TERHADAP SIFAT MEKANIS RESIN POLIESTER TAK JENUH. https://www.researchgate.net/publication/320486987_PENGARUH_PENAMBAHAN_KATALIS_TERHADAP_SIFAT_MEKANIS_RESIN_POLIESTER_TAK_JENUH.
- Setyawan, P.D, Sari, N.H, Putra, D.G.P. 2012. PENGARUH ORIENTASI DAN FRAKSI VOLUME SERAT DAUN NANAS (ANANAS COMOSUS) TERHADAP KEKUATAN TARIK KOMPOSIT POLYESTER TAK JENUH (UP) <http://dinamika.unram.ac.id/index.php/DTM/article/view/108>. Diakses senin,18 febuari 2019.
- Sri, H. F, Muris, Subaer, J. 2015. Studi Sifat Mekanik Dan Morfologi Komposit Serat Daun Nanas-Epoxy Ditinjau Dari Fraksi Massa Dengan Orientasi Serat Acak <http://ojs.unm.ac.id/JSdPF/article/view/1487>.
- Schwart, M.M, 1984. Composite Material Handbook, Mc Graw Hill.Singapore.
- Hasbi, M, Firman. Maret 2018. Studi Eksperimen Kekuatan Mekanik Daun Nanas Hutan Dengan Metode Pengujian Tarik. ojs.uho.ac.id/index.php/ENTHALPY/article/download/3627/2758.